

R /
PAJ

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-108951
 (43)Date of publication of application : 20.04.2001

(51)Int.Cl. G02F 1/09
 G02F 1/015
 G11B 11/105
 H01F 1/40
 H01F 41/20

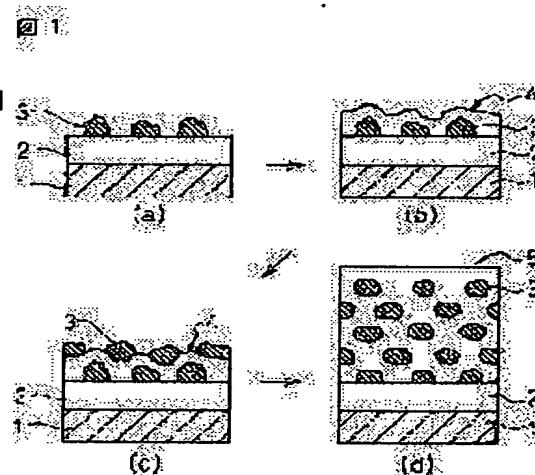
(21)Application number : 11-282835 (71)Applicant : RIKOGAKU SHINKOKAI
 (22)Date of filing : 04.10.1999 (72)Inventor : MUNEKATA HIROO
 HANEDA SHIGERU

(54) OPTICAL MODULATION MAGNETIC SEMICONDUCTOR AND ITS PRODUCTION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical modulation magnetic semiconductor in which the interaction between magnetic fine particles changes by irradiation of light to modulate the magnetism and which can be applied for an optical recording medium or optical modulation device of fast response.

SOLUTION: The magnetic semiconductor is prepared by dispersing magnetic fine particles in a semiconductor crystal which generates a carrier by irradiation of light, and the interaction between the magnetic fine particles changes by the irradiation of light to modulate the magnetism. The semiconductor crystal is a III-V compound, II-VI compound, IV compound or amorphous compound and is preferably GaAs. The magnetic fine particles are crystalline or amorphous, and contain a transition metal element (Fe) and/or rare earth element. An antiferromagnetic or ferromagnetic compound (Fe-As) different from the fine particles is formed on the surface of the fine particles. The magnetic material is deposited in a three-dimensional island-shape to a layer of several atoms to several tens of atoms on the surface of the semiconductor crystal. Then the semiconductor crystal is deposited to surround the magnetic material in the three-dimensional island-shape to form a new surface. These steps are repeated to produce the magnetic semiconductor.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

R
AI

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-108951

(P2001-108951A)

(43)公開日 平成13年4月20日 (2001.4.20)

(51)Int.Cl. G 02 F 1/09 1/015 G 11 B 11/105	識別記号 5 0 1 5 0 1 5 0 6 5 1 1 5 4 6	F I G 02 F 1/09 1/015 G 11 B 11/105	テマコード(参考) 2 H 0 7 9 5 D 0 7 5 5 E 0 4 0 5 E 0 4 9 5 4 6 B
--	---	--	--

審査請求 未請求 請求項の数18 OL (全9頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平11-282835

(22)出願日 平成11年10月4日 (1999.10.4)

(71)出願人 899000013

財団法人 理工学振興会
東京都目黒区大岡山2-12-1

(72)発明者 宗片 比呂夫

神奈川県横須賀市秋谷3630

(72)発明者 羽根田 茂

神奈川県横浜市緑区長津田5-7-3 コ
ージコーポ I I の201

(74)代理人 100077517

弁理士 石田 敬 (外4名)

最終頁に続く

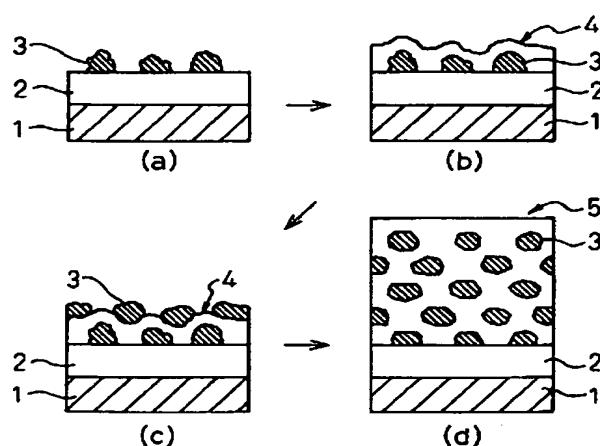
(54)【発明の名称】光変調磁性半導体およびその作製方法

(57)【要約】

【課題】光照射により磁性体微粒子間の相互作用が変化して磁性が変調し、高速応答の光記録媒体や光変調器に応用できる光変調磁性半導体を提供する。

【解決手段】光照射によりキャリアを生成する半導体結晶の中に、磁性体微粒子を分散せしめた磁性半導体であって、光照射により該磁性体微粒子間の相互作用が変化して磁性が変調する。半導体結晶は、III-V族系、II-VI族系、IV族系、非晶質系で、好ましくはGaAsである。磁性体微粒子は、結晶性または非晶質性で、遷移金属元素(Fe)及び/または希土類元素を含むものであり、該微粒子の表面には、該微粒子とは異なる反強磁性またはフェリ磁性の化合物(Fe-As)が形成されている。真空蒸着により、半導体結晶の表面に、数原子～数十原子層の高さの磁性体を3次元島状に堆積し、続いて、該3次元島状の磁性体を包み込むように半導体結晶を堆積して、新たな表面を形成することを繰り返して作製する。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体結晶の中に、磁性体微粒子が分散していて、光照射により磁性が変調することを特徴とする光変調磁性半導体。

【請求項 2】 前記半導体結晶が、光照射によりキャリアを生成する半導体結晶であることを特徴とする請求項 1 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 3】 前記半導体結晶が、III-V 族系半導体結晶であることを特徴とする請求項 2 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 4】 前記半導体結晶が、II-VI 族系半導体結晶であることを特徴とする請求項 2 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 5】 前記半導体結晶が、IV 族系半導体結晶であることを特徴とする請求項 2 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 6】 前記半導体結晶が、非晶質系半導体結晶であることを特徴とする請求項 2 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 7】 前記 III-V 族系半導体結晶が、 $GaAs$ であることを特徴とする請求項 3 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 8】 前記磁性体微粒子が、結晶性の磁性体微粒子であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項記載の光変調磁性半導体。

【請求項 9】 前記磁性体微粒子が、非晶質性の磁性体微粒子であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項記載の光変調磁性半導体。

【請求項 10】 前記磁性体微粒子が、遷移金属元素、希土類元素、もしくは、遷移金属元素及び/または希土類元素を含有する合金または化合物の磁性体微粒子であることを特徴とする請求項 8 または 9 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 11】 前記遷移金属が、Fe であることを特徴とする請求項 10 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 12】 前記磁性体微粒子の表面に、該磁性体微粒子とは異なる磁性化合物が形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項記載の光変調磁性半導体。

【請求項 13】 前記磁性化合物が、前記半導体結晶を構成する元素と前記磁性体微粒子中の遷移金属により形成される化合物を主体とする磁性化合物であることを特徴とする請求項 12 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 14】 前記磁性化合物が、反強磁性化合物であることを特徴とする請求項 13 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 15】 前記磁性化合物が、フェリ磁性化合物であることを特徴とする請求項 13 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 16】 前記反強磁性化合物が、Fe-A₃ 化合物であることを特徴とする請求項 14 記載の光変調磁性半導体。

合物であることを特徴とする請求項 14 記載の光変調磁性半導体。

【請求項 17】 請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項記載の光変調磁性半導体を作製する方法において、真空蒸着により、(a) 半導体結晶の表面に磁性体を 3 次元島状に堆積し、続いて、(b) 該 3 次元島状の磁性体を包み込むように該半導体結晶を堆積して、半導体結晶の表面を形成することを繰り返して行うことを特徴とする光変調磁性半導体の作製方法。

【請求項 18】 光記録媒体において、請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項記載の光変調磁性半導体を記録層として備えることを特徴とする光記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、母体となる半導体結晶の中に、結晶性あるいは非晶質性の磁性体微粒子がナノメートルスケールの間隔で分散していて、光照射により磁性が変調する磁性半導体と、その作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光で物質を磁化する光誘起磁化の研究が、常磁性体のルビー ($Al_2O_3 : Cr$)、反強磁性体のふっ化マンガン (MnF_2)、弱強磁性体のエルビウムオーソクロマイト ($ErCrO_3$) 等を用いて行われ、光誘起磁化を有する物質の光磁気変換器や光記録媒体への応用の可能性が追求されたが、そのような化合物自体、光誘起磁化が発現する機構を解明する基礎的研究の対象となり得ても、磁気の発生効率・応答性・制御性等の観点からして、実用的な光誘起磁化材料には程遠い。

【0003】 そして、例えば、レーザー発振素子材料として周知の常磁性体ルビー ($Al_2O_3 : Cr$) に、ルビーレーザーのパルス光 (半値幅約 25 ~ 50 nm) を照射して磁化し、この磁化が、ルビー中の Cr イオンが選択的に励起されることにより生じる、基底状態と励起状態における磁気モーメントの差に起因することを解明した研究報告 (昭和 57 年 4 月、NHK 技研月報)において、誘起磁場発生効率の良い新材料が見つかれば、光記録用書き込みヘッド、光 IC 回路、光通信受信機、光スイッチ等としての実用化に向けて、飛躍的に進歩するとのことが記載されているが、これまで、特定の物理的機能を目指しての材料開発の必要性がなかったため、光磁化材料の開発、ましてや、半導体と磁性体から構成される光磁化複合材料の開発は、材料探索・作製の困難性、例えば、具体的には、半導体と磁性体を、それぞれが本来有する結晶構造を保ちながら複合化することの困難性とも相まって、専門家のあいだで、ほとんど研究の対象とされてこなかったのが実情である。

【0004】 それでも、例えば、ドーピングによりキャリア (電子や正孔) の濃度を広い範囲で制御できるとい

う特徴を備える III-V 族半導体に着目し、その半導体特性と磁性とを結びつけようとする試みが幾つかなされたが (V. V. Isaev-Ivanov et al. : Sov. Phys. Semiconductors 7, 299 (1973), P. Kordos et al. : Solid State Electronics 18, 223 (1975), Y. Umehara and S. Koda, : Metallurgy 7, 313 (1974))、いずれの試みにおいても、磁性不純物の平衡固溶濃度が低いという材料設計上の困難を、材料作製の面で克服できず、信頼性や再現性のある研究結果が得られずに終わっている。

【0005】最近になり、分子線エピタキシー法により、上記材料設計上の困難性を克服して、(In, Mn)As 単結晶薄膜が作製され (H. Munekata et al. : Phys. Rev. Lett., 63, 1849 (1989))、上記特徴を備える III-V 族化合物結晶中に多量 ($10^{20} \sim 10^{21} \text{cm}^{-3}$) の磁性不純物を含有せしめた III-V 族系希薄磁性半導体という半導体材料系が開発され、光記録媒体における記録層への応用の可能性も確認されている (特開平11-203740号公報)。

【0006】この III-V 族系希薄磁性半導体薄膜 (In, Mn)As は、半導体特性、特に、ドーピングによりキャリア濃度を広い範囲で制御できる半導体特性と磁性との関係 (キャリア誘起磁性) を如実に具現化した最初の磁性半導体として、該関係を物理学的に解明する上で有益な知見を数多くもたらしてくれたが、そのキャリア誘起強磁性のキュリ一点は、約 10 K と低く (最大でも、膜厚 10 nm 近傍での 35 K)、この磁性半導体薄膜 (In, Mn)As においては、今後、何らかの工夫により、このキュリ一点を常温域まで高め、キャリアによる強磁性の発現を常温域で制御可能にすることが、実用化に向けての課題である。

【0007】また、III-V 族系希薄磁性半導体薄膜 (In, Mn)As においては、強磁性の発現を担うキャリアの濃度制御は、薄膜作製上の技法 (不純物添加や薄膜化・多層膜化等) に頼らざるを得ないのが現状であり、キャリア濃度は、薄膜作製上の技法の面から制約されることになるので、所要のキャリア誘起強磁性を再現性よく発現するためには、今後、所望濃度のキャリアを再現性よく内在せしめることのできる技法を確立する研究も必要となる。

【0008】しかしながら、一方で、III-V 族系希薄磁性半導体薄膜 (In, Mn)As においては、磁性を担う磁性原子 (Mn) 間の相互作用が本的に弱いので、常温域で、所望のキャリア誘起強磁性を発現することは無理と考えられている。また、常温域でキャリア誘起強磁性が発現した場合、その制御は、光照射により、照射箇所を局所的にキュリ一点を越える温度にまで加熱して行うことになるが、新たに、発熱に伴う課題を解決する研究も必要となってくる。

【0009】そして、この場合、磁気制御方式は、従来の磁気光ディスクにおける磁気制御と同じ方式を採用せ

ざるを得ず、この点に新規性はない。このように、III-V 族系希薄磁性半導体薄膜 (In, Mn)As は、キャリア濃度を広い範囲で制御できる半導体特性と磁性との関係を如実に具現化した磁性半導体として、この技術分野において極めて重要な物質として位置づけられるものであるが、実用材料に至るまでは、まだ多くの研究課題を抱えている。

【0010】したがって、半導体キャリアを介した磁性と半導体特性の融合と制御、及び、その実用化というテーマにおいては、基礎・応用研究の両面で、これまでとは異なる観点から新しい展開を図っていく必要がある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明者らは、上記テーマのもとで新しい展開を図っていくには、材料学的なアプローチの他に、薄膜作製上の技法に頼らず、物理的手法によるキャリア濃度を変化させ、その変化を介して磁性や半導体物性の変調を研究することが極めて重要であるとの考えのもとにおいて、半導体結晶中に分散した磁性体微粒子 (磁性原子が数個から数十万個集合して形成される微粒子) 間の相互作用ならば充分強力で、常温でも、光誘起キャリアによる磁性の発現及び変調が可能ではないかとの着想 (独創) に至り研究を遂行した。

【0012】即ち、本発明は、従来、光誘起磁性半導体といわれている磁性半導体 ([従来の技術] の項、参照) における磁性発現機構とは異なる発現機構のもとにおいて磁性を発現し、その磁性を光照射により変調するという独創的な着想のもとにおいて、従来の光誘起磁性半導体が抱えている基礎・応用面における上記課題を解決しようとするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記着想のもとにおいて研究を重ねた結果、結晶中に磁性体微粒子 (磁性原子が数個から数十万個集合して形成される微粒子) が分散した半導体に、母体となる半導体で決まる基礎吸収端に相当する波長の光を、常温において照射すると、磁性微粒子間の磁気的相互作用が変化し、結果として、磁化が増大したり、磁気異方性が変化するという現象が発現することを見いだした。

【0014】この現象は、従来の光誘起磁性半導体には見られない現象であり、この現象を応用すると、磁性半導体において、発現する磁性、及び、磁性が支配する磁気抵抗効果や磁気光学効果を、光により制御することができる。本発明は、このような独創的な着想の下において得られた知見に基づき完成したものであり、その要旨は次のとおりである。

(1) 半導体結晶の中に磁性体微粒子が分散していて、光照射により磁性が変調することを特徴とする光変調磁性半導体。

(2) 前記半導体結晶が、光照射によりキャリアを生成

する半導体結晶であることを特徴とする前記(1)記載の光変調磁性半導体。

(3) 前記半導体結晶が、III-V族系半導体結晶であることを特徴とする前記(2)記載の光変調磁性半導体。

(4) 前記半導体結晶が、II-VI族系半導体結晶であることを特徴とする前記(2)記載の光変調磁性半導体。

(5) 前記半導体結晶が、IV族系半導体結晶であることを特徴とする前記(2)記載の光変調磁性半導体。

(6) 前記半導体結晶が、非晶質系半導体結晶であることを特徴とする前記(2)記載の光変調磁性半導体。

(7) 前記III-V族系半導体結晶が、GaAsであることを特徴とする前記(3)記載の光変調磁性半導体。

(8) 前記磁性体微粒子が、結晶性の磁性体微粒子であることを特徴とする前記(1)～(7)のいずれかに記載の光変調磁性半導体。

(9) 前記磁性体微粒子が、非晶質性の磁性体微粒子であることを特徴とする前記(1)～(7)のいずれかに記載の光変調磁性半導体。

(10) 前記磁性体微粒子が、遷移金属元素、希土類元素、もしくは、遷移金属元素及び/または希土類元素を含有する合金または化合物の磁性体微粒子であることを特徴とする前記(8)または(9)記載の光変調磁性半導体。

(11) 前記遷移金属元素が、Feであることを特徴とする前記(10)記載の光変調磁性半導体。

(12) 前記磁性体微粒子の表面に、当該磁性体微粒子とは異なる磁性化合物が、形成されていることを特徴とする前記(1)～(11)のいずれかに記載の光変調磁性半導体。

(13) 前記磁性化合物が、前記半導体結晶を構成する元素と前記磁性体微粒子中の遷移金属により形成される化合物を主体とする磁性化合物であることを特徴とする前記(12)記載の光変調磁性半導体。

(14) 前記磁性化合物が、反強磁性化合物であることを特徴とする前記(13)記載の光変調磁性半導体。

(15) 前記磁性化合物が、フェリ磁性化合物であることを特徴とする前記(13)記載の光変調磁性半導体。

(16) 前記反強磁性化合物が、Fe-A₃化合物であることを特徴とする前記(14)記載の光変調磁性半導体。

(17) 前記(1)～(16)のいずれかに記載の光変調磁性半導体を作製する方法において、真空蒸着により、

(a) 半導体結晶の表面に磁性体を3次元島状に堆積し、続いて、(b) 該3次元島状の磁性体を包み込むように該半導体結晶を堆積して、半導体結晶の表面を形成することを繰り返して行うことを特徴とする光変調磁性半導体の作製方法。

(18) 光記録媒体において、前記(1)～(16)のいずれかに記載の光変調磁性半導体を記録層として備えることを特徴とする光記録媒体。記載の光変調磁性半導体。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明について、詳細に説明する。まず、本発明の光変調磁性半導体について説明する。本発明の光変調磁性半導体において、母体となる半導体は、半導体特性の点からは光照射により、所要濃度のキャリアを生成するものであればよく、また、作製上の点からは、結晶中に、数原子～数十万原子が集合した程度の大きさの磁性体微粒子を、ナノメートルから数十ナノメートルの間隔で分散し得る半導体であればよい。

【0016】代表的なものは、III-V族系半導体、II-VI族系半導体、IV族系半導体及び非晶質系半導体であるが、上記半導体特性及び作製上の両点を満たせばよいのであるから、これら系の半導体結晶に限定されない。例えば、III-V族系半導体結晶においては、GaAs、InAs、AlAs、GaP、InP、AlP、GaSb、InSb、AlSb、GaN、AlN、及び、これらの混晶等、II-VI族系半導体結晶においては、ZnSe、ZnS、CdTe、CdS、HgTe、ZnO、及び、これらの混晶等、IV族系半導体においては、Si、Ge等、また、非晶質系半導体においては、非晶質Si、非晶質Ge、非晶質半導体化合物等を用いることができる。

【0017】なかでも、III-V族系半導体結晶においては、GaAs、InAs、GaP、InP、InSb、GaN、及び、これらの混晶、また、II-VI族系半導体結晶においては、ZnSe、CdTe、CdS、ZnO、及び、これらの混晶が好ましい。さらに、これら族系の半導体結晶の他に、VI族系半導体(Se、Te等)、IV-VI族系半導体(PbS、PbSe、PbTe等)、有機半導体(C₆₀フラーレン、アントラゼン、ポリアセチレン、ポリイソブチレン等)等も、上記半導体特性及び作製上の両点を満たす限りにおいて、当然に用いることができる。

【0018】半導体結晶の内部で磁性を直接担う磁性体微粒子は、物的には、結晶性のものでも、非晶質性のものでもよく、要は、母体となる半導体結晶中に分散し、所要の強さの磁性を呈するものであればよい。なお、非晶質性の磁性体微粒子の場合、完全に非晶質である必要はなく、所要の強さの磁性を確保できる限度で、微細結晶を含んでいてもよい。

【0019】そのような磁性体微粒子として、Fe、Co、Ni、Mn等その他の遷移金属、もしくは、これら遷移金属を含有する合金または化合物が好ましい。また、IIIa族のSc、Y、ランタノイド等の希土類元素の中には、それ自身磁性を呈するものや、他の元素と結合して磁性合金または磁性化合物を形成するものもあるので、このような希土類元素もしくは希土類元素を含有する合金または化合物も、上記磁性体微粒子として好ましい。

【0020】さらに、上記磁性体微粒子として、上記遷

移金属と上記希土類元素の両方を含有する合金または化合物も好ましいことは当然である。そして、実際には、母体となる半導体結晶の内部での分散性や結晶整合性、さらに、所望の磁性変調を得る点をも考慮して、磁性体微粒子とする物質を選択する。

【0021】したがって、複合化する半導体結晶と磁性体微粒子の具体的な組み合わせは、光照射で生成するキャリア濃度や、期待できる磁性とその変調の程度の観点から総合的に評価して、適宜選択すればよい。例えば、GaAsとFe、InAsとMnAs、GaPとCo、GaAsとMnAs、ZnSeとFe、GaNとFe、GaNとFeN、CdTeとNi、SiとFe、GeとCo等の組み合わせがあるが、これらの組み合わせに限定されるものではない。

【0022】本発明の光変調磁性半導体においては、多くの場合、磁性体微粒子の表面に、当該磁性体微粒子とは異なる磁性化合物が形成されている。この磁性化合物は、本発明の光変調磁性半導体を作製する過程で、半導体結晶を構成する元素の一部と、磁性体化合物を構成する元素の一部とが結合して、固溶化合金、固溶体化合物、金属間化合物等の形態で、磁性体微粒子の表面に、薄膜状、網目状もしくは斑紋状に形成されるものである。そして、この磁性化合物は、当然に、磁性体微粒子間に存在することになるので、光照射により誘起されたキャリアとともに、磁性体微粒子間の相互作用の強弱や温度特性に対して影響を及ぼすものである。

【0023】この磁性化合物の磁性は、形成される化合物の成分組成に依るもので、特に限定するものではないが、反強磁性、もしくは、フェリ磁性であれば、磁性体微粒子間の相互作用に及ぼす影響が大きいので、磁性の変調・制御の点で好ましい。半導体結晶と磁性体微粒子の組み合わせは、前述の観点から総合的に評価して、適宜選択できるものであるが、特に、キャリア濃度を広い範囲で制御できるGaAs(III-V族系半導体)と、強磁性を呈することができるFe元素との組み合わせが好ましい。

【0024】しかし、前述したように、本発明の光変調磁性半導体は、GaAsとFeの組み合わせに限定されるものではない。次に、本発明の光変調磁性半導体の作製方法(以下「本発明の作製方法」という。)について説明する。本発明の作製方法は、真空蒸着法を基本法とするが、要は、母体となる結晶性半導体を、結晶性ないし非晶質性(ガラス)の基板上に形成させ、かつ、形成した半導体結晶薄膜中に、数個から数十万個程度の磁性原子が集合した磁性体微粒子を、ナノメートルスケールの間隔(ナノメートルから数十ナノメートルの間隔)で分散せしめることができる方法であればよい。

【0025】特に、分子線エピタキシー法が好ましいが、この方法に限らず、有機金属気相成長法、反応性スパッタ法、イオン打ち込み法、熱アニーリング法等の他

の方法を用いてもよく、さらに、これら方法を適宜組み合わせた方法でもよい。そして、本発明の作製方法においては、結晶性ないし非晶質性の基板上に形成された半導体結晶の表面に磁性体が3次元島状となって安定的に堆積する条件を設定し、かつ、その堆積後、この3次元島状の磁性体を包み込むように、半導体薄膜を堆積して、新たに半導体結晶の表面を形成する条件を設定する必要があるが、例えば、分子線エピタキシー法を用いる場合、反射高速電子線回折法により作製過程中的表面状態の像を得て、3次元島状の磁性体の堆積状況、半導体結晶の堆積状況、該結晶表面の形成状況を確認しながら作製できるので、これら条件は、半導体結晶と磁性体微粒子の具体的な組み合わせのもとにおいて、適宜選択することができる。

【0026】例えば、上記した、GaAsとFe、InAsとMnAs、GaPとCo、GaAsとMnAs、ZnSeとFe、GaNとFe、GaNとFeN、CdTeとNi、SiとFe、GeとCo等の組み合わせのなかでも、GaAsとFe、InAsとMnAs、GaAsとMnAs、GaNとFe、CdTeとNi、SiとFe等の組み合わせの場合には、分子線エピタキシー法を用いるのが好ましが、最終的に、半導体結晶の中に磁性体微粒子が分散した組織態様が得られればいいのであるから、上記他の方法も当然に使用できる。

【0027】特に、GaAsとFeの組み合わせの場合、分子線エピタキシー法を用いるのが好ましい。そして、その際の主な作製条件としては、真空間度: 10^{-6} Torr程度以下、基板温度: 300~700°C、堆積速度: GaAs=1nm/sec以下、Fe=0.5nm/sec以下が好ましい。しかし、所望のキャリア濃度で、かつ、期待する磁性とその変調の程度は、用途等に応じ多種多様の態様があり得、特定の狭い範囲に限定されるものではないから、光変調磁性半導体の作製に分子線エピタキシー法を用いる場合においても、作製条件は、上記条件に限定されず、上記多種多様の態様に応じ、適宜、選択・設定されるべきものである。

【0028】ここで、本発明の光変調磁性半導体とその作製方法を、模式的に図1に示す。この図1において、1が基板で、この基板上にまず半導体結晶の薄膜2を形成し、次に、その表面に、磁性体3を、高さ数原子~数十原子層分の3次元島状になるように、ナノメートルスケールの間隔をおいて堆積し(図1(a)参照)、続いて、この3次元島状の磁性体3を包み込むように、半導体結晶の薄膜4をさらに堆積して、該磁性体3を完全に覆い、新たに半導体結晶4の表面を形成し(図1(b)参照)、この堆積・形成を所定の回数繰り返すと(図1(c)参照)、本発明の光変調磁性半導体5(図1(d)参照)を作製することができる。

【0029】次に、本発明の光記録媒体について説明する。本発明の光記録媒体は、本発明の光変調磁性半導体

を記録層として備えるものである。構造的には、従来の光記録媒体と同様の構造でよいが、本発明の光変調磁性半導体は、常温域で強磁性が発現し、その磁性が光照射により変調されるものであるから、光照射による記録・消去の方式は、光照射により、照射箇所を局所的にキュリ一点を越える温度にまで加熱して行うという従来方式とは、根本的に異なるものである。

【0030】このように、本発明の光記録媒体は、キュリ一点を境とする加熱・冷却の工程を必要としないので、従来の光記録媒体に比べ応答性がよく、高速応答が可能な光記録媒体である。次に、実施例に基づき本発明を、更に詳しく説明する。ただし、本発明は、【課題を解決するための手段】の項で述べたように、結晶中に磁性体微粒子（磁性原子が数個から数十万個集合して形成される微粒子）が分散した半導体に、母体となる半導体で決まる基礎吸収端に相当する波長の光を、常温において照射すると、磁性微粒子間の磁気的相互作用が変化し、結果として、磁化が増大したり、磁気異方性が変化するという新規な現象に基づいてなされたものであるから、以下に説明する実施例に限定されるものではない。

【0031】

【実施例】厚さ450ミクロンのGaAs(100)基板を大気雰囲気下でH₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O = 7 : 1 : 1 溶液により表面層を数ミクロンエッチングした。その後、分子線エピタキシー装置の試料準備中に搬入し、10⁻⁸Torr程度の中真空において200-300°Cで1時間程加熱して脱ガス処理を行った。このプロセス終了後、基板を試料成長室に導入し、まず、膜厚0.3ミクロン程度のGaAsバッファー層の形成を行った。この時の基板温度は580°C、Ga及びAs原料セルのルツボ温度は、それぞれ、950°C及び260°C、GaAsの成長速度は約0.14nm/secとした。バッファー層表面の反射高速電子線回析(RHEED)像は、表面凹凸が広い面積にわたって数原子層以下であり、また、いわゆる砒素安定な(2x4)表面構造を示した。バッファー層形成後、直ちに、光変調磁性半導体薄膜作製に移行した。このプロセスは、Ga及びAsセルシャッターを閉じ、次に、温度1250-1450°Cに加熱されたFe原料セルのシャッターを開くことで開始した。基板温度は580°Cに保ったままとした。セル温度に依存するが、Feセルシャッターは、通常100秒間開き、この間に、高さ数原子層分のFe三次元島状の核を形成する。この様子は、RHEED像で、Feに特有な網目状のスポット像として観測された。この際、表面に露出したままのGaAs表面からの回折像も観測された。所定の時間Fe微粒子を形成させた後、Feセルシャッターを閉じ、続いて、Ga及びAsシャッターを開けてGaAs膜の形成を行った。この時、GaAs結晶膜はFe微粒子を覆うように成長させた。このプロセス完了時には、Feに起因したRHEED像は消滅し、G

aAsからのみの表面回折像が観測された。

【0032】成長中の構造と成長後の構造は、RHEED像により確認した。図1(a)～(c)に模式的に示すとおり、GaAs基板上のGaAs第1層上において、最初のFe層の核形成・生成が、三次元の島状の形で起き、GaAs表面が、部分的に被覆されないままに残り、この被覆されないままに残ったGaAsの表面が、次のGaAsの析出によって被覆され、GaAsの成長が開始し、Fe核が隠され、再び、GaAsの表面が完成するというプロセスが繰り返されていた。

【0033】そして、上記半導体試料において、磁化曲線、シート抵抗、その他必要な特性値を測定した。図2に、160Kで、この試料表面(100)に対して平行な方向と垂直な方向に磁場Hをかけて得られた磁化曲線を示す。図2に示す磁化曲線から、GaAs結晶中に、強磁性微粒子(Fe微粒子)が存在することがわかる。

【0034】また、この磁化曲線は、磁場2KG以上で徐々に増加しているが、このことは、GaAs結晶中に、常磁性または超常磁性化合物が存在していることを示している。そこで、上記半導体試料につき、高感度粉末ディフラクトメーターにより解析すると、 α -Fe、FeAs、GaAsが存在することが分かった。その解析図を図3に示す。

【0035】Feは、一部がGaAsマトリックス中に拡散して、常磁性または超常磁性のFeイオンまたはFeクラスターを形成しているか、もしくは、GaAsと反応して、GaAsとFe島の間の界面において、反強磁性FeAsを形成していると考えられる。図4に、暗状態と光照射時における、160Kでの磁化曲線を示す。測定は、dc-SQUID磁力計を用い、励起光($\lambda = 692\text{nm}$ 、 $P = 13\text{mW/cm}^2$)は、光ファイバーを通して、試料表面に垂直に導入し、磁場は、試料表面に垂直(ファラデー配置)にかけて行った。

【0036】図4に示す磁化曲線において、450 μm 厚のGaAs基板の反磁性的な影響が、完全には除去されていないので、磁化曲線の傾きは、全体としてマイナスになっているが、超常磁性もしくは常磁性の挙動に帰着する中・高磁場における磁化曲線が、励起光照射により、上方にシフトしていることがわかる。そして、励起光照射を中断すると、磁化曲線は、直ぐに、暗状態で観測された磁化曲線に戻ることが確認された。このことは、励起光照射による磁化曲線の上方シフトは、可逆的なものであり、試料における成分変化及び/もしくは構造変化によるのではないことを示している。

【0037】また、この磁化曲線の上方シフトは、室温でも見ることができた。このことは、磁性体一半導体複合・融合構造において、比較的高温でも、光誘起磁化が生じることの最初の証拠である。図5に、室温で、試料表面に垂直に磁場をかけて測定したシート抵抗の磁場依存性を示す。暗状態では、高抵抗で、かつ、磁場を加え

た場合わずかに正の磁気抵抗が観測されているが、励起光として赤色光 ($\lambda = 660 \text{ nm}$ 、 $P = 0.17 \text{ mW/cm}^2$) を照射すると、シート抵抗は、光誘起キャリアーにより、約 25% 減少し、そして、特徴的なヒステリシスを伴った正の磁気抵抗曲線が出現することがわかる。

【0038】上記半導体試料におけるゼロ磁場での光伝導スペクトルは、GaAs のバンドギャップに相当するエネルギー「1.4 eV」のところで鋭い立ち上がりを示すが、このことは、GaAs 結晶中で生成する光誘起キャリア（電子と正孔）が、この磁気抵抗に係る現象に深く関与していることを示しているといえる。そして、この現象は、赤色光照射下において再現性良く繰り返し観測された。このことは、この現象が、試料における成分変化及び／もしくは構造変化によるのではないことを示している。

【0039】なお、上記半導体試料は、室温での光照射下におけるホール抵抗測定によれば、キャリア濃度約 10^{15} cm^{-3} 、移動度 $10^2 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ の n-タイプ状態であった。また、ヒステリシスを伴う磁気抵抗は、40 Kから室温までの広い温度範囲で観測されることを確認したが、低温では、ヒステリシスが消失傾向となる。このことは、Fe（磁性体微粒子）とGaAs 結晶の間に、試料作製過程で形成された反強磁性FeAs（Ne 1点77K）（この存在は、高感度粉末ディフラクтомーター解析により確認した）が、上記半導体試料の磁気的挙動に影響を与えていていると考えられる。

【0040】通常の強磁性体系においては、スピン・ディスオーダーの程度が最大になる保持力場近傍で、試料の電気抵抗はピークになるから、この挙動との対比で、観察された挙動は、「抵抗は、低磁場磁化の飽和が現れる磁場の近傍で最小値を示す」という点において、通常の強磁性体系において見られる挙動とは逆である。また、観測された現象は、従来の (In, Mn)As における光キャリア誘起磁性や、(Ga, Mn)As におけるキャリア誘起磁性の現象とも異なっている。

【0041】したがって、本発明の光変調磁性半導体に

おいては、従来知られている磁性発現機構とは基本的に異なる磁性発現機構が機能し、さらに、その機構がベースとなり、磁性が変調するという新規な現象が発現している、即ち、本発明の光変調磁性半導体においては、これまでに見い出されていない新規な磁性発現・変調機構が機能しているということができる。

【0042】

【発明の効果】以上のとおり、本発明の光変調磁性半導体は、【従来の技術】の項で挙げた従来の光誘起磁性半導体とは基本的に異なる機構・現象に基づき、常温で磁性を発現し、かつ、磁性変調をなすことができるものであるから、熱発生を伴わない、高速で省エネルギーな高機能・新機能光情報デバイス用素材（例：キュリーポイント書き込みによらない光磁気記録用光磁化素材）の開発に資するものである。

【0043】また、本発明の作製方法は、半導体と磁性体を複合化するための具体的な設計・作製指針を与え、今後の光磁化可能な素材の作製に資するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光変調磁性半導体とその作製方法を、模式的に示す図である。

【図2】160Kで、試料表面（100）に対して平行な方向と垂直な方向に磁場Hをかけて得られた磁化曲線を示す図である。

【図3】半導体試料を高感度粉末ディフラクтомーターにより解析した結果を示す図である。

【図4】暗状態と光照射状態における160Kでの磁化曲線を示す図である。

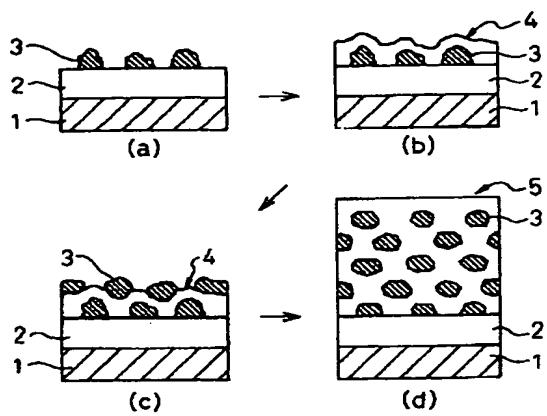
【図5】室温で、試料表面に垂直に磁場をかけて測定したシート抵抗の磁場依存性を示す図である。

【符号の説明】

- 1…基板
- 2…半導体結晶の薄膜
- 3…磁性体
- 4…半導体結晶の薄膜
- 5…光変調磁性半導体

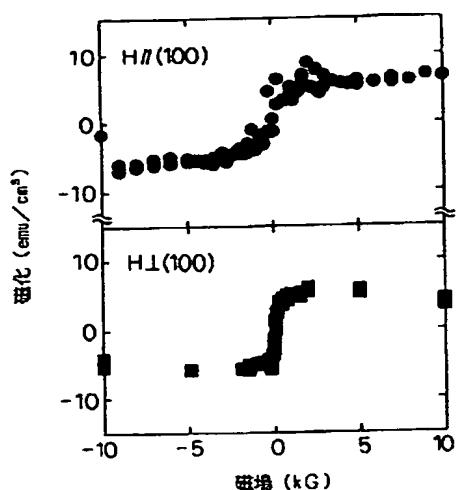
【図1】

図1

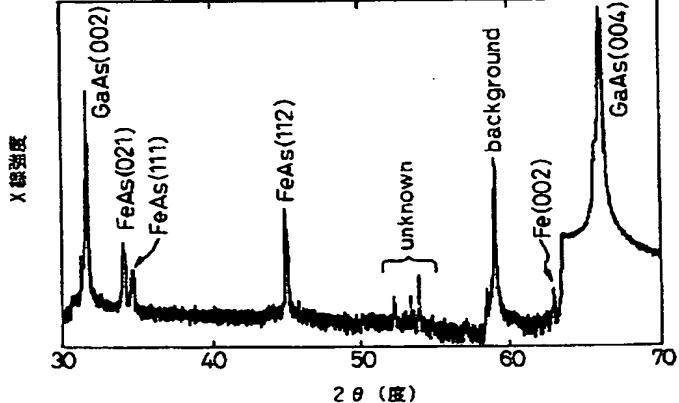


【図2】

図2

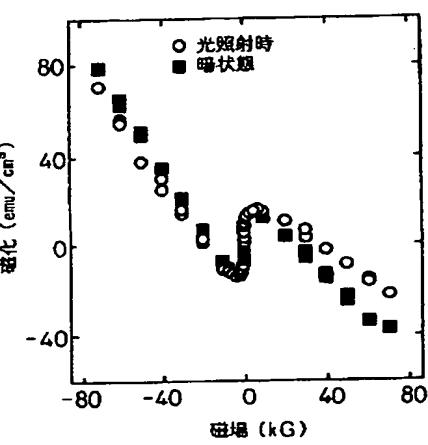


【図3】



【図4】

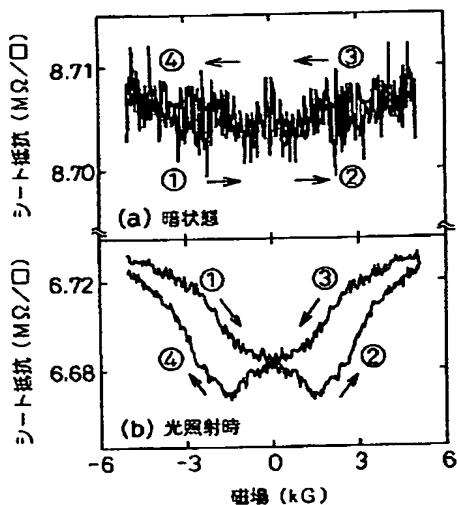
図4



BEST AVAILABLE COPY

【図5】

図5



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 F 1/40		H 0 1 F 41/20	
41/20		1/00	A

F ターム (参考) 2H079 AA05 AA08 CA23 DA14 DA16
 5D075 FF20 GG02 GG16
 5E040 AA03 AA06 AA11 AA14 AA19
 AA20 BB01 BC01 BD03 CA06
 CA11 CA16 HB14
 5E049 AA01 AA04 AA07 AA09 AA10
 AC01 BA23 HC01